

DISEÑO CONCEPTUAL DE UTILLAJE PARA PRUEBA MINIATURA DE PUNZONAMIENTO

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Tecnológico Nacional de México en Celaya

alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Erik López Vargas

Tecnológico Nacional de México en Celaya

erik.lopez@itcelaya.edu.mx

Elías Daniel Valadez González

Tecnológico Nacional de México en Celaya

eldanvgz@hotmail.com

María Guadalupe Ángeles Ramírez

Tecnológico Nacional de México en Celaya

13031042@itcelaya.edu.mx

Resumen

Este trabajo expone la metodología del diseño conceptual de los utillajes (herramental) requeridos para realizar ensayos Miniatura de Punzonamiento (EMP) en la máquina universal del Tecnológico Nacional de México en Celaya. Para ello se realizó una investigación de los diferentes diseños de utillajes que han empleado diversos investigadores y mediante la metodología de diseño propuesto por Cross se propone un nuevo diseño de herramental. Para validar el correcto funcionamiento del diseño de los herramentales se realizaron prototipos en 3D y se acoplaron a la máquina universal.

La validación del herramental por medio de los prototipos dio lugar a observar y poder corregir algunas dimensiones, así como el diseño.

Palabras(s) clave: Ensayos Miniatura de Punzonamiento, Metodología de diseño, Utillajes.

Abstract

This paper presents the conceptual design methodology of the tooling required to perform Small Punch Tests (SPT) in the universal machine of the “Tecnológico Nacional de México en Celaya”. For this, an investigation was made of the different designs of tools that have been used by several researchers and through the methodology of design proposed by Cross a new tooling design is proposed. To validate the correct operation of the tooling design, 3D prototypes were made and coupled to the universal machine. The validation of the tool through the prototypes led to observe and can correct some dimensions as well as the design.

Keywords: *Small Punch Tests, Design methodology, Tooling.*

1. Introducción

A pesar de que las fallas de un elemento estructural son poco comunes, estas llegan a suceder generalmente por dos causas: a defectos de manufactura o al daño inducido durante el tiempo de servicio. Donde los defectos de manufactura resultan de la ignorancia o errores humanos en procesos de diseño, fabricación o selección de materiales, mientras que la segunda causa es difícil de predecir ya que dependen de factores externos al diseño [4].

La caracterización mecánica de propiedades resulta ser una evaluación fundamental de cualquier componente o estructura, sin embargo, con frecuencia las zonas de evaluación resultan tan pequeñas o incluso el elemento estructural puede ser de dimensiones estrechas que llegan a presentar una limitación en la cantidad de material para la fabricación de probetas bajo una normativa convencional como lo son los estándares ASTM E399 o ASTM E1820. Debido a esta problemática alrededor de los años 80s nace la prueba “miniatura de punzonamiento” [8], con la cual es posible obtener información del comportamiento del material mediante probetas miniatura. Esto permite evaluar estructuras, como lo son puentes vehiculares, para anticiparse a alguna falla y evitar accidentes que ocasione pérdidas humanas.

La prueba ha extendido sus ramas a materiales como polímeros. La evolución metodológica ha dado pie al desarrollo de ensayos miniatura a bajas y altas

temperaturas o en contacto con medios corrosivos [2,11]. Actualmente la prueba de punzonado miniatura permite determinar las propiedades de tracción, temperatura de transición dúctil-frágil, comportamiento a la fractura, así como el fenómeno de fragilización siendo una alternativa para la caracterización de materiales, teniendo como ventajas:

- La prueba requiere probetas simples y pequeñas (10x10x0.5 mm).
- La evaluación es local.
- Bajo costo de la prueba y es de utilidad en condiciones extremas de prueba [7].

En muchas ocasiones el proceso de fabricación de materiales implica posibles defectos tales como poros, inclusiones, cavidades o deficiencias microestructurales, por el proceso de fabricación inapropiado. Mediante la técnica miniatura de punzonamiento se puede determinar y evaluar la integridad estructural de elementos estructurales, así como las propiedades de los materiales bajo efectos climáticos, sin afectar la funcionalidad de los mismos [5].

En la figura 1, se muestran algunos diseños de utillajes de otros autores, que por medio de la técnica de miniatura de punzonamiento llevan a cabo el estudio de polímeros [9,3,6].



Figura 1 Diseño de utillajes de otros autores.

2. Métodos

El ensayo miniatura de punzonamiento es una técnica alternativa (no convencional) en la caracterización mecánica de materiales metálicos. Este

ensayo consiste básicamente en el punzonado de una probeta de pequeñas dimensiones en la que se va registrando de forma continua el desplazamiento del punzón y la fuerza ejercida sobre la probeta, obteniéndose así una curva carga-desplazamiento, de la cual se extraen determinados parámetros y, mediante diferentes metodologías, son estimadas diversas propiedades mecánicas [12]. La metodología de diseño para los utillajes, se basó en el modelo de Archer's del Cross, desarrollando la siguiente metodología (figura 2) [1].

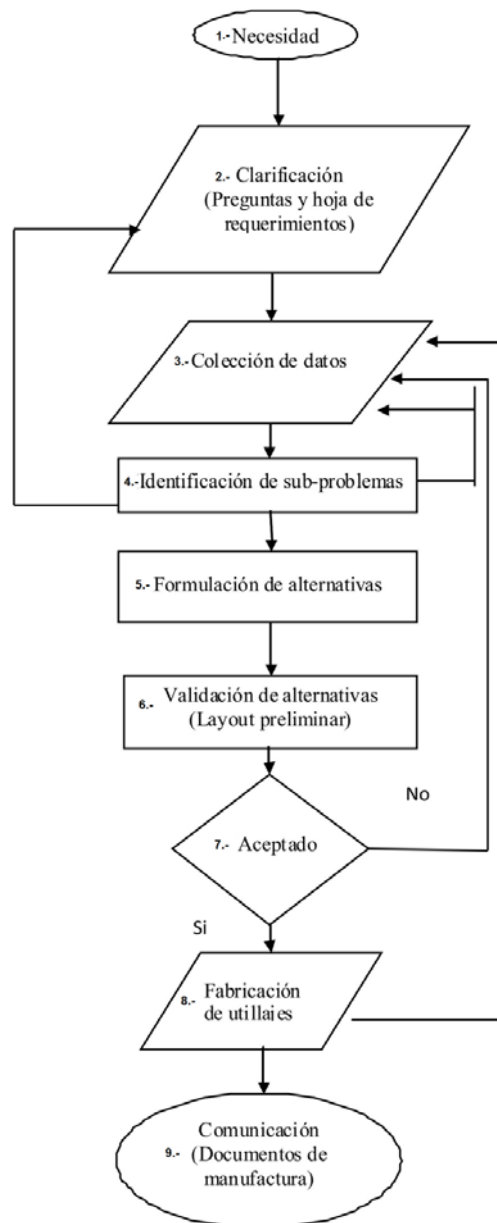


Figura 2 Metodología de diseño.

Necesidad

Como primera etapa de la metodología de diseño, se identificó la necesidad, la cual fue motivada por el colapso de algunos anclajes del puente del río Papaloapan buscando realizarle pruebas que no comprometan la integridad estructural de los mismos. Por lo que la prueba miniatura de punzonamiento es ideal para analizar estos elementos sin necesidad de poner fuera de servicio los anclajes del puente.

Clarificación

La Comisión Europea de Normalización (CEN) [10] ha intentado ir centrando el camino a través de recomendaciones sobre cómo realizar los ensayos sin carácter normativo, es decir, no ha establecido instrucciones definitivas para obtener las propiedades mecánicas a través de esta técnica, pero sirve como guía, por ejemplo, en las dimensiones del utillaje y el procedimiento de cómo realizar el ensayo. El código CEN [10], ha establecido la recomendación de 4 mm de diámetro en el orificio de la matriz y un diámetro de 2.5 mm del punzón, indicando además una dureza en el herramental de 55HRC (figura 3).

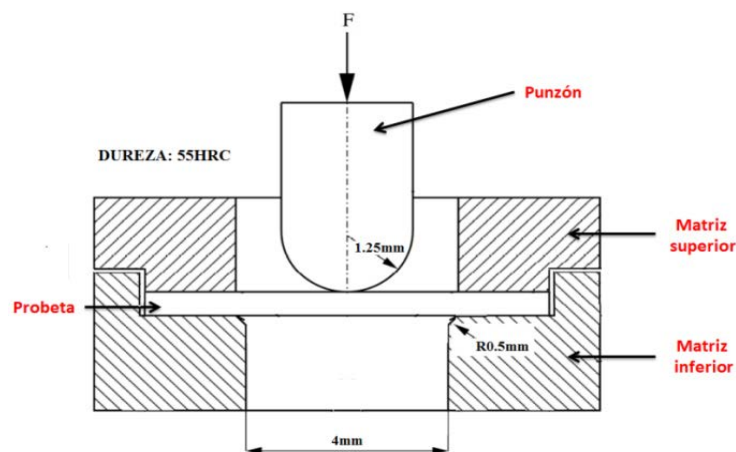


Figura 3 Dimensiones del utillaje y la probeta a ensayar.

Para poder llevar un modelo conceptual de diseño se requirió centrar las especificaciones de diseño, llevando a cabo el llenado de la hoja de requerimientos la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Hoja de requerimientos para los utillajes.

ESPECIFICACIONES	Si/No	DESEABLE/ FORZOSO
GEOMETRÍA		
Geometría simple	Si	Deseable
Pocos elementos	Si	Forzoso
Tolerancia cerrada entre punzón y matriz superior	Si	Forzoso
ENSAMBLE		
Fijado a la máquina	Si	Deseable
Fijado a los utillajes de compresión	No	
Fijado a los utillajes de tensión	No	
MATERIAL		
Acero inoxidable	Si	Deseable
Superficie endurecida	No	
Con cierta dureza	Si	Forzoso 55 HRC
Compatibilidad de materiales de la máquina (corrosión)	Si	Deseable
MANTENIMIENTO		
Se requiera lubricación	No	
Fácil mantenimiento (partes reemplazables)	Si	Forzoso (balín)

Colección de Datos

Para el diseño de los utillajes se estudió la máquina a la cual se van a incorporar estos nuevos elementos, por lo que se obtuvo información mediante el manual de la máquina, como son las dimensiones (figura 4).

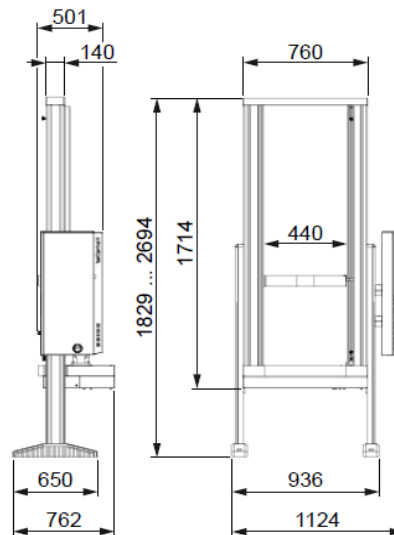


Figura 4 medidas de la máquina.

Se obtuvieron las dimensiones de los utillajes de compresión que usa la máquina, con la finalidad de ver el montaje y desmontaje de los mismos, figura 5.

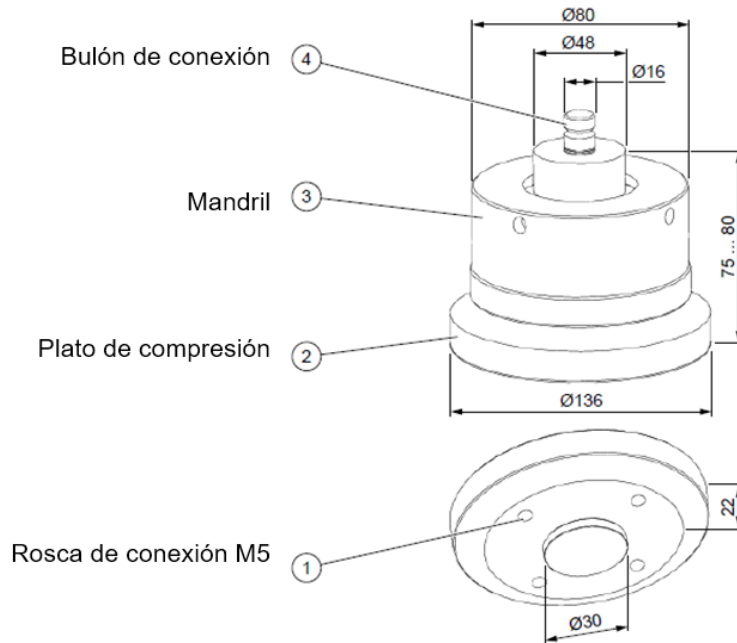


Figura 5 Dimensiones de los utillajes de compresión de la máquina Zwick.

Identificación de Sub- Problemas

En el manual de la máquina, no incorporan los planos de fabricación de los utillajes, solo algunas medidas como las mostradas anteriormente (la figura 5), esto represento un problema para la formulación de los utillajes ya que se requerían para el montaje en la máquina, y algunas propuestas se pensaron para emplear los elementos de compresión de la máquina, buscando reducir el número de componentes a fabricar. En el manual de la máquina se hacen algunas recomendaciones respecto a los utillajes de compresión, como:

- No colocar las probetas de forma descentrada, puesto que se falsean los valores característicos y se pueden dañar los platos de compresión (figura 6).
- Ensayos de compresión con un solo punto de contacto pueden dañar los platos (figura 7), por lo que no se debe aplicar ninguna presión superficial en un solo punto.

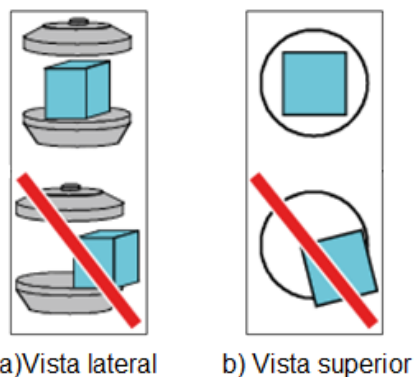


Figura 6 Colocar la probeta en el centro del plato.

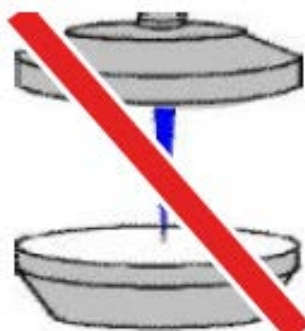


Figura 7 No realice el ensayo con un solo punto de contacto.

Formulación de Alternativas

Estudiando los utillajes usados en la Universidad de Cantabria en España, donde ya se practica el método miniatura de punzonamiento, se obtuvo las ventajas y desventajas como se muestra en la tabla 2, de la misma manera se ilustra el diseño usado (figura 8) [10].

Tabla 2 Ventajas y desventajas del diseño en la Universidad de Cantabria.

Diseño	Desventajas	Ventajas
Diseño de la Universidad de Cantabria	<ul style="list-style-type: none"> • Varias piezas • Díficil acceso a la probeta • No se tiene control sobre el balín o esfera de penetración. • existe juego entre el punzón y la matriz 	<ul style="list-style-type: none"> • Ya ha sido probado. • Es funcional

Las siguientes propuestas de diseño se basan en los utillajes de la Universidad de Cantabria y pensando en el montaje y uso de los utillajes de compresión de la máquina. En los diseños propuestos se ha hecho una ligera modificación en el casquillo exterior del diseño original, fusionándolo con el tornillo de apriete así como con la matriz superior, con la finalidad de tener un mejor acceso a la probeta a ensayar, se formularon las siguientes alternativas de diseño para los utillajes, en tabla 3 se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, de igual manera se ilustran los diseños propuestos en las figuras 9, 10, 11, y 12 a los cuáles se hace referencia en cada tabla.

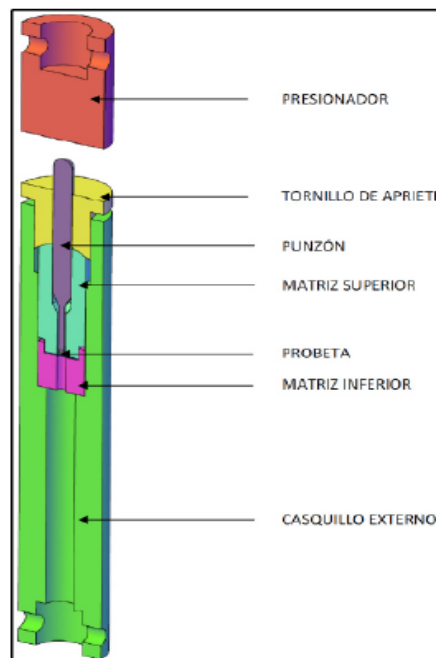


Figura 8 Diseño de la Universidad de Cantabria.

En los tres diseños se propone el casquillo exterior se divida en dos partes para que el acceso a la probeta sea inmediato sin necesidad de desmontar todos los elementos, ya que con esto se corre el riesgo de perder el balón empleado.

Al realizar una retroalimentación de las alternativas y evaluar sus ventajas y desventajas se observó, que el ajuste del casquillo exterior superior con el casquillo exterior inferior genera un torque al apretar, dicho torque se transmite directamente a la probeta lo cual ocasionaría su deformación así como su

movimiento, y en el momento de hacer la prueba se obtendrían valores erróneos, debido a que no se garantiza que el punzón penetre en el centro de la probeta, y la posible deformación afecte los resultados del análisis.

Al revisar estos detalles se propuso un nuevo diseño fusionando el diseño de la Universidad de Cantabria con la propuesta número tres, lo cual nos resulta en el diseño de la figura 12 con su respectivo análisis de ventajas y desventajas mostradas en la tabla 6.

Tabla 3 Propuestas1 uso del plato de compresión.

Diseño	Desventajas	Ventajas
Propuesta 1: Uso en plato de compresión	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de que el plato sufra deformaciones debido a que la carga se encuentra concentrada en un solo punto. • Mala distribución de la carga. • Posible juego con el punzón lo que provocaría lecturas erróneas 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización del plato superior de compresión. • Se evita la fabricación del pisón. • Uso de la autocorrección de la carga por el mismo utillaje.
Propuesta 2: Fabricación de un plato con el pisón incorporado	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere montar y desmontar el plato a los utillajes de compresión lo cual requiere tiempo. • Se puede perder algún tornillo de sujeción en el montaje y desmontaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza el sistema de autocorrección de los utillajes de compresión. • El plato original no es necesario. • el pisón reduce el área de contacto generando una mejor distribución de la carga
Propuesta 3: Los utillajes se montarán directo a la máquina.	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede presentar inestabilidad y que los utillajes queden descentrados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje mediante los mismos elementos de sujeción para los platos de compresión (bulbo o tornillo de sujeción). • Fácil montaje y desmontaje.
Propuesta 4: Los utillajes se montan directo a la máquina y se incorpora el elemento de ajuste del diseño original	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede presentar inestabilidad y que los utillajes queden descentrados • Mayor cantidad de piezas 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje mediante los mismos elementos de sujeción para los platos de compresión (bulbo o tornillo de sujeción). • Fácil montaje y desmontaje. • Fácil acceso a la probeta reduciendo el riesgo de perder el balón empleado.

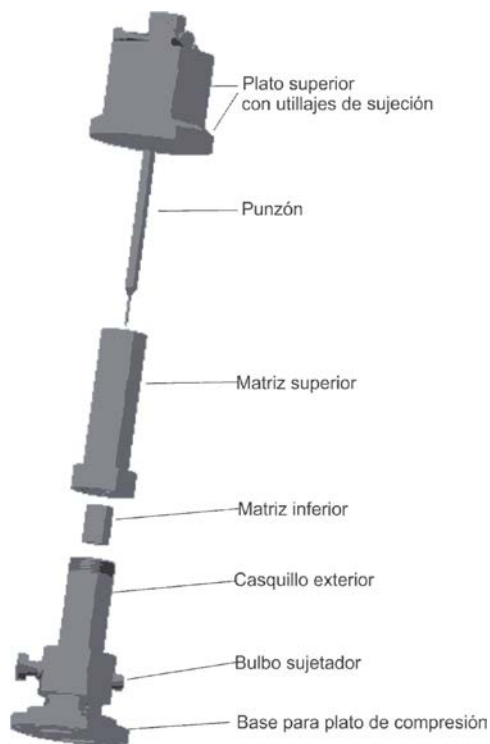


Figura 9 Uso del plato de compresión como pisón.

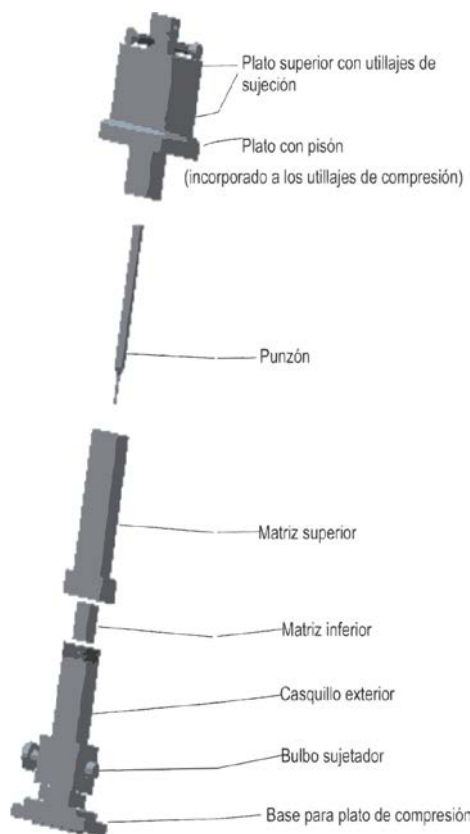


Figura 10 Pisón incorporado al plato.

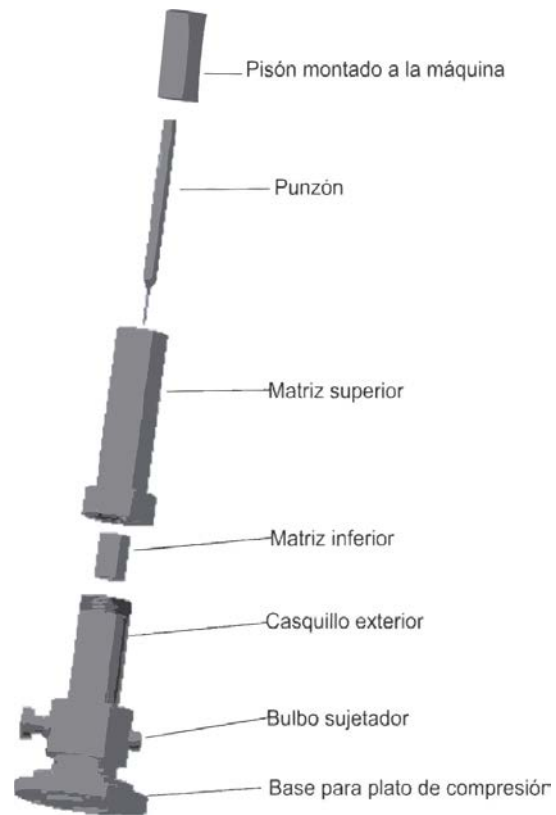


Figura 11 Utillajes se montarán directo a la máquina.

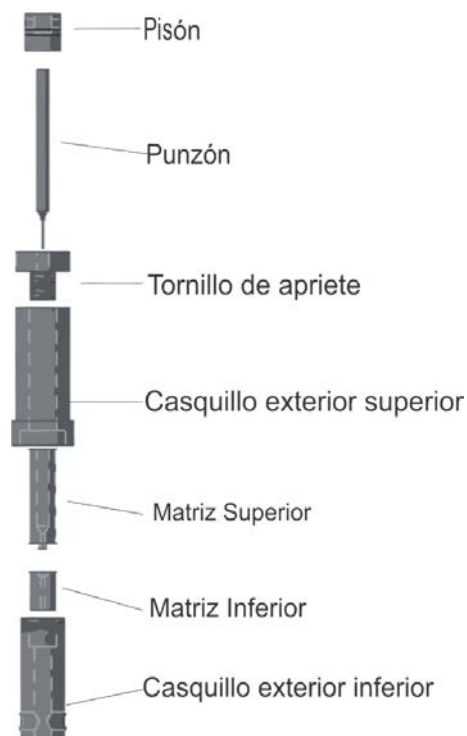


Figura 12 Utillajes se montan directo a la máquina, se agrega tornillo de apriete.

Validación de Alternativas

Al realizar las propuestas y evaluar cada una de ellas mediante la hoja de requerimientos, se aprobó la propuesta 4 (figura 12) la cual fusiona el diseño empleado en España (figura 8) con la propuesta 3 (figura 11) por lo que se prosiguió en la fabricación a modo de prototipo mediante impresora 3D, y poder visualizar en físico y corroborar sus ventajas y desventajas supuestas anteriormente (tabla 3), en la figura 13 se muestran los prototipos, con excepción del punzón esto debido que se deforme y la redondez de dicho elemento no se obtuvo por medio de la impresión 3D.



Figura 13 Prototipo de los utillajes.

Al tener el diseño en físico se visualizó las ventajas y desventajas que el diseño representa.

3. Resultados

El prototipo presentado de los utillajes para la prueba miniatura de punzonamiento cumplió con las expectativas requeridas para su buen funcionamiento, sin embargo, se apreciaron algunos detalles de dimensionamiento esto por la falta de precisión de la máquina de impresión 3D, empleada para la fabricación de los modelos a forma de prototipo, se están ajustando las dimensiones del utillaje haciéndolos más compactos para que su manejo sea más fácil. En la figura 14, se muestra el ensamble del prototipo en la máquina.



Figura 14 Prototipo montado en la máquina universal de tensión.

El material de los utillajes se está estudiando, ya que se requiere que este cumpla con propiedades mecánicas de acuerdo con la CEN:

- Dureza de 55 HRC.
- Resistencia a la corrosión.
- De baja densidad

4. Discusión

Para el diseño conceptual de los utillajes presentado en este trabajo, se siguió la metodología de Cross [1], realizando un diseño de utillajes que permitirá usar la máquina universal del Tecnológico Nacional de México en Celaya para implementar la técnica miniatura de punzonamiento y analizar elementos estructurales, bajo condiciones normales y de corrosión.

Se fabricaron prototipos, mediante impresión 3D, para visualizar el diseño y comprobar su funcionalidad a las necesidades requeridas, esto ayudo a visualizar el montaje de los utillajes con la máquina y a realizar ajustes de dimensionamiento, así como correcciones en el diseño.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Cross, N. (1942). *Engineering Design Methods*. Inglaterra: Wiley.
- [2] D.J. Jaekel, D. M. (2011). Characterization of PEEK biomaterials using the small punch test. *J Mech Behav Biomed*.
- [3] David J. Jaekel, D. W. (October 2011). Characterization of PEEK biomaterials using the small punch test (Vol. 4). (I. 7, Ed.) *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*.
- [4] F.J. Carrion, M. L. (2003). *Prueba no destructiva de materiales estructurales y puentes*.
- [5] J. Terán-Guillén, S. C.-M.-Q. (Diciembre 2014). Structural integrity assessment of the cast steel upper anchorage elements used in a cable stayed bridge (Vol. 81). *Engineering Structures - Journal - Elsevier*.
- [6] J.F. Basbus, M. M. (2014). Effect of Pr-Doping on Structural, Electrical, Thermodynamic, and Mechanical Properties of BaCeO₃-δ as Proton Conductor (Vol. 161). *Journal of The Electrochemical Society*.
- [7] M. Saucedo, M. R. (junio 2015). Correlación de la prueba de indentación miniatura contra pruebas mecánicas convencionales: Prueba de impacto Charpy, Termofluencia y tenacidad a la fractura (Vol. 2).
- [8] M.P. Manahan, A. A. (1981). The development of a miniaturized disk bend test for the determination of postirradiation mechanical properties. *J Nucl Mater*.
- [9] R. J. Lancaster, W. J. (25 February 2015). An Analysis of Small Punch Creep Behaviour in the Y Titanium Aluminide Ti-45Al-2Mn-2Nb (Vol. 626). *Materials Science and Engineering*.
- [10] Standardization., C. 1. (2008). *Small Punch Test Method for Metallic Materials*. Europa.
- [11] T. Auger, I. S. (2008). Role of oxidation on LME of T91 martensitic steel studied by small punch test. *J Nucl Mater*.
- [12] Vargas, E. L. (Marzo 2015). *Aplicación del Ensayo Small Punch en la Evaluación de la Integridad Estructural de los anclajes de acero colado procedentes de un puente*.